

## High speed milling and turning/turn broaching/turning and turn broaching

Patent Number: US6684500  
 Publication date: 2004-02-03  
 Inventor(s): KOHLHASE MATTHIAS [DE]; SANTORIUS ROLF [DE]  
 Applicant(s): BOEHRINGER WERKZEUGMASCHINEN [DE]  
 Requested Patent: DE19749939  
 Application Number: US20000554249 20000718  
 Priority Number(s): DE19971049939 19971111; WO1998EP07232 19981111  
 IPC Classification: B23P17/00  
 EC Classification: B23B5/18; B23C3/06; B23D37/00B  
 Equivalents: EP1030754 (WO9924196), B1, ES2172935T, JP2001522726T, WO9924196

### Abstract

A method and apparatus for machining workpieces with rotationally symmetrical surfaces, for example crankshafts, by which the setting and idle times are minimised, transposition of the workpiece to another machine is avoided, and both large batch sizes and also small numbers of items are economically machined. Machining of the workpiece is effected both by a method in which the machining speed is produced primarily by the rotation of the workpiece, and also by a method in which the machining speed is achieved primarily by the rotation of the tool.

Data supplied from the [esp@cenet](mailto:esp@cenet) database - I2

## Description

### BACKGROUND AND SUMMARY OF THE INVENTION

[0002] This application claims the priority of German Application No. 19749939.2, filed Nov. 11, 1997, the disclosure of which is expressly incorporated by reference herein.

[0003] The invention concerns a method of machining workpieces with rotationally symmetrical surfaces, for example unstable workpieces of a complicated shape, with rotationally symmetrical, even eccentric surfaces, and apparatus for such a machining procedure.

[0004] Machining is used in this specification broadly, embracing not just chip-cutting machining but also for example water jet cutting, laser cutting, laser hardening, heat treatment and so forth.

[0005] A typical representative of such a workpiece is a crankshaft used for reciprocating piston internal combustion engines, reciprocating piston compressors and so forth, or a camshaft for similar uses.

[0006] Machining of a crankshaft in the rough condition, that is to say cast or forged, consisting of steel or cast iron, is generally effected by known cutting machining procedures. Crankshafts are most frequently used in an internal combustion engine of a motor vehicle, and are generally produced in very large numbers. Therefore, in terms of selecting the machining method and the machine configuration, the method which has the expectation of the shortest possible machining time for each crankshaft is adopted.

[0007] In accordance with the known procedures, the central or main bearings of the crankshaft are machined by means of rotational broaching or turning-rotational broaching, for example as disclosed in German Patent DE 35 23 274 C2 or European Patent EP No 86 108 666, while the crank throw or big-end bearings and is possibly also the crank side cheek faces can be machined by means of external milling, in particular high-speed external milling, for example as disclosed in German Patent DE 196 26 627 A1, or by means of internal milling, also referred to as spinning cutting, or by means of rotary milling, for example as disclosed in German Patent DE 44 46 475.

[0008] As an alternative to external milling it, is also possible to use rotary milling. Under some circumstances the respective cutting machining operation takes place when the workpiece is in an already hardened condition. In that respect the terms just used are employed to denote the following:

[0009] Rotational Broaching:

[0010] Arranged at the periphery of a disk-shaped tool, spaced in the peripheral direction thereof, are rotational broaching cutting edges whose spacing increases relative to the center of the rotational disk-shaped tool. That disk-shaped tool rotates with its axis in parallel relationship beside the axis of the crankshaft and material is removed at the peripheral

surface of the crankshaft by the rotational broaching cutting edges being pivoted along the periphery of the crankshaft which is rotating substantially faster (about 1000 rpm). If the rotational broaching cutting edges are all at the same spacing relative to the center of the tool, a feed must be implemented radially with respect to the crankshaft, in the X-direction, between the tool cutting edges. Those procedures can be distributed to a plurality of cutting edges or can be supplemented by sister tools.

[0011] Turning-rotational Broaching:

[0012] This involves the rotational broaching operation described above, wherein implemented prior thereto is a plunge-cut turning operation which is implemented by means of a cutting edge which is also arranged on the periphery of the disk-shaped tool. Plunge-cut turning is effected by a procedure whereby the disk-shaped tool does not rotate during engagement of the cutting edge, but is only moved radially forwardly towards the workpiece.

[0013] External Milling:

[0014] In this case also the cutting edges are disposed on the periphery of a disk-shaped tool which is drivable in rotation with an axis parallel to the axis of the workpiece. The cutting speed however results primarily from the rotary movement of the tool while the workpiece only rotates at about 10 rpm until an at least complete rotary movement of the tool has been completed about the rotationally symmetrical surface of the workpiece, which is to be machined.

[0015] Particularly when dealing with large oversizes, a number of passes of the tool around the workpiece surface are required, but even if a single pass seems adequate by virtue of the oversize involved, more than one complete rotary pass is often necessary because of the tangential inward and outward movement of the tool.

[0016] The disk-shaped tool is equipped with milling teeth over its entire periphery.

[0017] The spacing of the cutting edges in the peripheral direction relative to each other can possibly be less than in the case of rotational broaching or turning-rotational broaching, in regard to which the intention is generally to conclude the machining operation with the one cutting edge before the next cutting edge comes into the condition of engagement into the workpiece.

[0018] Disk-shaped Tool:

[0019] This generally involves a circular disk. Theoretically however it is also possible to use non-circular disks, for example ellipses and so forth. Preferably however the disks only ever exhibit convexly outwardly curved peripheral contours and in that respect in particular do not have any hard or abrupt steps in the peripheral contour. If there are cavities in the peripheral contour, they are not equipped with cutting edges.

[0020] Rotary Milling:

[0021] In contrast to external milling, rotary milling is operated with a generally finger-shaped milling cutter whose axis of rotation is in orthogonal relationship with the axis of rotation of the workpiece to be machined. The peripheral surfaces are machined with the one or more end cutting edges of such a finger milling cutter, and the end faces of the workpiece are milled with the cutting edges arranged on the peripheral surface of the finger cutter.

[0022] High-speed Milling (Rotary Milling or External Milling):

[0023] This milling occurs at a cutting speed of, for example, in the case of steel: over 130 m/min, in particular over 180 m/min, in the case of cast iron: over 150 m/min, in particular over 200 m/min, and in the case of aluminum: over 300 m/min, in particular over 500 m/min. Such cutting speeds are promoted in particular by a positive cutting edge geometry and the appropriate cutting material choice.

[0024] This high cutting speed is advantageous because it minimises all the disadvantages of interrupted cutting, which are inherent in the milling system.

[0025] In the prior art, machining operations involving turning/rotational broaching/turning-rotational broaching on the one hand and machining by means of external milling or rotary milling, that is to say generally milling, on the other hand, were not used in combination as it was considered to be impractical by virtue of the completely different necessary ranges of rotary speed for the workpiece. While, in the case of turning/rotational broaching/turning-rotational broaching, the cutting speed was primarily attained on the basis of the speed of rotation of the workpiece which is about 1000 rpm for a private automobile crankshaft, and the disk-shaped tool was pivoted in or rotated only at a speed of less than 30 rpm, the situation is approximately diametrically opposite in the case of external milling/rotary milling, in particular in the case of high-speed milling.

[0026] In a corresponding fashion the problems which occur in such machining procedures also arise in completely different areas:

[0027] In the case of turning/rotational broaching/turning-rotational broaching, it is not necessary to use the C-axis which involves monitoring the rotational position of the workpiece because of the high speed of rotation of the workpiece. Furthermore, co-ordinated tracking, of the tool in the X-direction is in any case not possible with that speed.

[0028] The main difficulties with the high speeds of rotation involved include the area of the clamping force, compensating for unbalance and so forth.

[0029] By contrast, with external milling/rotary milling, as inter alia the crank throw or big-end bearings are to be machined hereby, implementation of the C-axis is an absolute necessity. The problems lie in sufficiently rigidly clamping or supporting the workpiece and in holding the large heavy workpiece only on one side in a stable and accurate fashion. Particularly when high levels of accuracy are involved, a problem arises with true running and balanced condition of the tool and the tool shaft.

[0030] An object of the present invention is to provide a method for machining workpieces with rotationally symmetrical, or even eccentric surfaces such as camshafts or crankshafts, which provides for minimizing the setting and idle times, wherein, in particular, transposition of the workpiece on to another machine by changing the chucking mounting thereof is avoided, and wherein both large and small batch sizes are economically machined.

[0031] Another object of the invention is to provide apparatus for machining workpieces, such as crankshafts, which affords enhanced use versatility with a simplified and rational operating procedure.

[0032] The foregoing and other objects are attained by the method and apparatus according to the invention as set forth herein.

[0033] As will be apparent from the following description of preferred embodiments of the invention, by virtue of the fact that two procedures which are different in principle, as regards the effect of the relative speed between the tool and the workpiece, are used on the workpiece, the machining mode which is the most advantageous both technically and also economically can be selected for the respective operating location and thus considered in its totality over the workpiece. If the two procedures are applied on one and the same machine, considerable setting and idle times for transposition of the workpiece onto another machine, as well as the machining inaccuracies which are caused by re-chucking the workpiece on the other machine can be avoided.

[0034] Preferably the workpiece is also not completely released and then clamped again within the machine, but, if possible, the clamping or chucking action is only temporarily released on one side of the crankshaft.

[0035] It is thus possible to machine, for example, the central or main bearings of a crankshaft by rotational broaching or turning-rotational broaching, and obviously also by simple turning, while the crank throw bearings, under some circumstances in the same clamping condition, can be machined by means of external milling or rotary milling, and likewise the crankshaft side cheek faces.

[0036] Additionally, if there is the possibility of accommodating the crankshaft between points or centers and applying the torque necessary for the machining operation, then the end flange and the end journal of the crankshaft can be machined within the same machine, preferably by means of turning or rotational broaching or turning-rotational broaching, in order to implement clamping of the crankshaft by means of clamping jaws at the periphery thereof, at those surfaces which have then already been machined.

[0037] Chucks which are particularly suitable for this purpose have clamping jaws which engage the periphery of the workpiece which can be axially advanced and retracted relative to the point or the center which is guided at the center, namely a tailstock center. This enables a transition received between centers to be clamped at the periphery by means of clamping jaws, and even hybrid forms of those two options.

[0038] Preferably the tool units are also displaceable in the Y-direction and possibly also rotatable about the B-axis while there can also be additional boring and milling units on a tool support.

[0039] For that purpose a suitable machine preferably has clamping chucks which have both clamping points or centers and also clamping jaws. In this structure, the points are displaceable relative to the jaws in the axial direction, that is to say the Z-direction, in such a way that, upon clamping between points, the jaws, which are then retracted, do not impede machining at the periphery of the end journal and the end flange.

[0040] Such a machine has two machining units of which one permits the machining process of turning or rotational broaching or turning-rotational broaching or a combination thereof, while the other permits external milling or rotary milling, in particular at high speed. Those two machining units are arranged in particular on separate or separately actuatable supports which are displaceable at least in the X-direction, preferably also in the Y-direction, and possibly rotatable about the B-axis.

[0041] The machining units can each be arranged on the same side of the workpiece or on opposite sides or at an angle relative to each other. In addition the tool units must also be displaceable in the Z-direction along the workpiece in order to be able to implement their machining procedure at different axial positions of the workpiece.

[0042] In addition to or instead of using one of the machining units, it is possible to provide a non-chip-cutting machining unit. This can be a water jet cutting device, a laser cutting device or a device for heat treatment, in particular a laser hardening device. Such a non-chip-cutting machining unit is also preferably displaceable in the Z-direction, possibly also in the X- and the Y-direction.

[0043] A movement in the X-direction is however not absolutely necessary depending on the respective machining method involved because, instead of a change in the radial spacing between the tool unit and the workpiece, for example in the case of a laser, it is only necessary to adjust the focusing. A similar procedure is also possible in the case of water jet cutting.

[0044] This combination of machining methods or machining units affords the possibility of producing even very small batch sizes and individual items of a given crankshaft at a still viable price. Therefore it is immaterial that the machining time in this case is a multiple of the machining time in the case of large-scale mass production of crankshafts.

[0045] Hardening in the machine, for example, by means of a laser beam or an inductor, for particularly the bearing surfaces, can also be used because it is possible to avoid releasing the workpiece, passing it through a separate hardening procedure and re-clamping the crankshaft in another machine in which the post-machining operation after hardening, in particular grinding, is completed. In addition, the hardening operation is effected only at locations where it is required, so that the heat-induced distortion, which occurs in the crankshaft, can be minimized or controlled in a deliberate

and targeted fashion, insofar as given regions of the crankshaft are subjected to the heating and cooling effect in a given fashion in terms of magnitude, time sequence and time pattern.

[0046] A further advantage of hardening, for examples by means of a laser beam within the machine is that, even during the heating of regions of the crankshaft, which is required for the hardening procedure, by means of a laser beam, cutting machining is possible in those heated regions by means of one of the above-mentioned procedures. This drastically reduces the forces that occur in the cutting machining operation. In that respect the cutting machining procedure can also take place in the cooling period or can extend into, the cooling period so that, during simultaneous cooling, and cutting machining, the thermally induced distortion in the final product can be kept at a minimum level.

[0047] In order to be able to implement the extremely different speeds of rotation of the spindle stock or stocks for driving the workpiece, as are necessary with the two groups of the method, these drives may have for example, aside from a motor spindle or motor, an intermediate transmission which can be shifted or which can be brought into operation and which may have a step-up ratio or step-down ratio of the order of magnitude of at least 1:50, particularly 1:70, and preferably 1:100. Implementation of the C-axis on the spindle stock which only has to be involved in the slower mode of operation can also be coupled to the shiftable intermediate transmission. The transmission may be a worm gear/worm assembly or a planetary assembly.

[0048] Other objects, advantages and novel features of the present invention will become apparent from the following detailed description of the invention when considered in conjunction with the accompanying drawings.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0049] Further objects, features and advantages according to the invention will be apparent in greater detail from the description hereinafter of preferred embodiments.

[0050] FIG. 1a is a side view of a machine for cutting machining, by means of two machining units,

[0051] FIG. 1b is an end view of the FIG. 1a machine, FIG. 2 is an end view of a similar machine, FIG. 3 is an end view of a modification of the machine shown in FIGS. 1a and 1b,

[0052] FIG. 4 is an end view of a machine which a modification of the machine of FIG. 2,

[0053] FIG. 5 shows an end view of another modification of the machine shown in FIGS. 1a, and 1b, and

[0054] FIG. 6 shows an end view of another machine embodiment.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENT

[0055] FIGS. 1a and 1b show an apparatus for the cutting machining of a workpiece shown as a crankshaft KW is a side view and an end view, respectively. The end view of FIG. 1b is in the direction of the longitudinal axis 10 of the crankshaft KW.

[0056] The view of FIG. 1a shows the bed 3 of the machine on which are arranged two spindle stocks 4, 5 of which the one spindle stock 5 is displaceable in the axial, Z-direction, in order to permit the crankshaft to be introduced and removed.

[0057] The crankshaft KW is clamped at each of its two ends in a respective chuck 6a, 6b carried on one of the spindle stocks 4, 5 and driven in rotation thereby. Reference 18 denotes a drive with a drive speed ranging for example from 0 to 1500 rpm. The spindle stocks 4, 5 are either electronically or mechanically synchronised or, instead of the one spindle stock 5, the machine only has a freely rotating tailstock without its own drive.

[0058] Two more more tool supports 1, 2 are displaceable along the bed parallel to the workpiece, along a Z-guide 33. The tool supports 1, 2 each carry a respective one or more tools. The one case involves a disk-shaped rotary milling tool 11 while the other case involves a disk-shaped rotational broaching tool 14 or turning-rotational broaching tool 15. The disk-shaped tools are respectively pivotable or drivable in rotation about a C2-axis, in parallel relationship with the Z-direction, and are arranged on an X-carriage 35 which is displaceable in the X-direction, that is to say radially transversely with respect to the crankshaft, and which is arranged on the tool support 1, 2.

[0059] Additional displaceability of an orthogonal milling tool shown in FIG. 4 as the finger milling cutter 12 in the Y-direction affords further machining options.

[0060] As can be seen from the view in FIG. 1b, this can involve an inclined bed machine in which therefore the Z-guide is arranged approximately at the height of the longitudinal axis 10, and the X-carriage 35 is movable inclinedly from above towards the workpiece which is not shown in FIG. 1b, that is to say towards the longitudinal axis 10.

[0061] While, in the embodiment shown in FIG. 1b, the two tool supports 1, 2 are arranged one behind the other in the direction of viewing FIG. 1b, FIG. 2 shows a view of a design configuration in which the bed 3 is of asymmetrical structure and the two tool supports 1, 2 are arranged in a V-shape in such a way that their X-carriages are displaceable at a preferably acute angle relative to each other towards the longitudinal axis 10 of the machine.

[0062] The view of FIG. 1a shows the rotary milling tool 11 and the rotational broaching tool 14 in simultaneous use, which in practice is thought to be a rather rare situation.

[0063] It will be apparent that preferably crank throw or big-end bearings are machined by means of the rotary milling tool 11. The rotary milling tool 11 must therefore be of such a diameter and must project radially in the X-direction beyond its X-carriage 35 which carries it, to such an extent that machining of the big-end bearings is possible, without collision, in spite of the crank side cheek portions which project further beyond the longitudinal axis 10. The crank side cheek end faces and possibly crank side cheek peripheral surfaces are preferably also machined by means of the rotary milling cutter 11.

[0064] In that case the crankshaft KW is stationary (preferably with only radial inward engagement of the rotary milling tool 11) or it rotates slowly (with tangential inward engagement of the tool) through at least one full revolution until the crank throw journal 16, possibly including its mirror surfaces forming thrust surfaces, and the adjoining crank side cheek end faces, have been finished machined. For this to occur knowledge of the rotational position of the crankshaft KW is necessary. That is, there is a need for a controlled C-axis with respect to the spindle stock or stocks 4, 5 and a defined rotational position of the crankshaft KW with respect to the chucks 6a, 6b.

[0065] In contrast, the rotational broaching tool 14 or turning-rotational broaching tool 15 machines the central or main bearings, possibly also including the oil shoulders, mirror or thrust surfaces and so forth. In that situation the crankshaft KW is driven in rotation very fast without the precise rotational position having to be known while the rotational broaching tool 14 or 15 is rotated or pivoted relatively slowly parallel to the crankshaft or does not rotate at all while a plunge-cut rotational machining operation is effected only with one cutting edge of the tool. A machine control system 36 co-ordinates the Z- and X-movements of the tools, the rotary movements or pivotal movements of the tools and possibly the speed of rotation or possibly also the angular position of the crankshaft KW.

[0066] In order to be able to perform finishing machining on a rough crankshaft with such a machine, as far as possible in a single clamping configuration, that is to say in order also to be able to machine the end flange 21 and the end journal 22, special chucks 6a, 6b are used, as illustrated in the detail view on an enlarged scale in FIG. 1a:

[0067] Those chucks can on the one hand each have a respective central point or center 8, by means of which the workpiece can be gripped between centers in known manner by engaging into a centering bore in the face thereof.

[0068] In addition this chuck has in particular retractable jaws 7 which floatingly or centeringly grip the workpiece KW at an outside periphery.

[0069] For machining the rough, forged or cast crankshaft which, as preliminary machining only has the above-mentioned centering bores, the crankshaft is first, accommodated at the ends between the points 8 and torque is applied. In that particular clamping configuration, one of the central bearings at the longitudinal center, for example 17b, is machined by means of turning, rotational broaching or turning-rotational broaching, at the periphery. That first machined location then serves for applying a support device, linette or the like, by way of which the crankshaft can also be driven in rotation in a manner not shown herein. With this support/drive arrangement, it is now possible with the present tools to machine the end flange 21 and the end journal 22 at the periphery and possibly also at the outwardly disposed end face, into the proximity of the centering bore. The crankshaft can then be clamped at those machined peripheral surfaces of the end flange 21 and the end journal 22 by means of the jaws 7 and the crankshaft can be machined at all other desired locations.

[0070] For that purpose, the jaws 7 preferably floatingly or centeringly engage the periphery of the end flange 21 or the end journal 22, without the clamping action between the centers or points 8 having to be completely removed either beforehand or at the same time to release the crankshaft, in order not to give rise to a positional error of the crankshaft KW with respect to the chucks 6a, 6b.

[0071] For this to occur, the jaws 7 are displaceable in the axial Z-direction relative to the points 8 and in particular are retractable with respect to the points 8 to such an extent that no collision can occur when machining the ends of the crankshaft.

[0072] In comparison, FIG. 3 shows a view of a design configuration of a machine in which two disk-shaped tools, more specifically, on the one hand an external milling tool 11 and, on the other hand, a rotational broaching tool 14 are disposed on 8 pivotal carrier 37, on a single tool support 1 which is displaceable in the Z-direction. The pivotal carrier 37 is in turn positioned on the X-carriage 35. On the basis of the consideration that, at the completely different necessary speeds of rotation of the workpiece when carrying out external milling or rotary milling on the one hand and when carrying out turning or rotational broaching or turning-rotational broaching on the other hand, the two tools generally cannot come into operation on the workpiece at the same time so that the arrangement on a common tool support saves on the structure for a second support and provides space for further machining units.

[0073] In this case also the X-carriage is displaceably inclined downward towards the workpiece and the workpiece is disposed above the chip and cuttings trough which is formed in the machine bed 3.

[0074] FIG. 4 shows a structure similar to FIG. 2, but in which the external milling tool 11 is replaced by a finger milling cutter 12. The latter is generally not rotatable on the X-carriage 35 but is only pivotable about a C2-axis arranged parallel to the Y-axis 10, in order to permit tracking adjustment of the end face of the finger milling cutter 12 on which the single end cutting edge is shown, with the crank throw bearing journals of the rotating crankshaft.

[0075] As an alternative, it is also possible for the tool, that is to say for example the finger milling cutter 12, instead of the pivotal movement, also to be arranged on the tool support movably in the second transverse direction with respect to the longitudinal axis of the workpiece, being the Y-direction, and it is thus possible to achieve controlled superimposition of the X- and Y-movements in the adjustment procedure in regard to the workpiece to be machined.

[0076] The finger milling cutter 12 machines, with its end cutting edges, a peripheral surface of the workpiece. When using only a single end cutting edge which extends radially outwardly from the center of the finger milling cutter, particularly good surfaces are produced on the machined workpiece.

[0077] The generally helical cutting edges on the peripheral surface of the finger milling cutter serve for machining end faces on the workpiece, for example, crank side cheek faces.

[0078] FIG. 5 is a view of a machine which, in terms of its structure, corresponds to that shown in FIG. 2 or FIG. 4.

Arranged on the tool support 1 however instead of a cutting tool is a non-chip-cutting machining unit which once again, relative to the tool support, in particular the X-carriage 35 thereof, is either pivotable about an axis extending in the Z-direction or is additionally controlledly displaceable in the Y-direction.

[0079] For those times when such a non-cutting machining unit is involved, such as, for example, a laser cutting unit, a laser hardening unit or a water jet cutting unit, an issuing jet 38 is symbolically illustrated in the drawing. With adequate focusing of the jet, the non-cutting machining unit 34 during operation on the workpiece, can be so far away that it is possible, even with the tool supports 1 and 2 being arranged in the V-shape as shown in FIG. 5, for the tool, for example, a rotational broaching tool 14, of the other support 2, to operate at the same machining location without any fear of collisions occurring.

[0080] In comparison, FIG. 6 shows a machine in which two tool supports 1, 2 are arranged on mutually opposite sides of the workpiece, and their X-carriages 35 are displaceable preferably in the same X-plane relative to each other towards the workpiece which is not shown in FIG. 6, that is, towards the longitudinal axis 10 of the machine.

[0081] In that case, as described with reference to FIGS. 1 and 2, the supports 1 and 2 carry on the one hand, a rotatable disk-shaped rotary milling tool 11 and, on the other hand, a rotatable or pivotable, disk-shaped rotational broaching tool 14 or turning-rotational broaching tool 15 respectively. Additionally, in FIG. 6 a further tool support 40 is displaceable on one of the two Z-guides 33, 33' of the bed 3. The further tool support 40 carries a non-cutting machining unit 34 which has already been described hereinbefore with reference to FIG. 5. The noncutting machining unit 34 is, in this case, also pivotable with respect to the X-carriage 41 carrying it about an axis parallel to the Z-direction or it is displaceable controlledly in the Y-direction, that is, transversely with respect to the direction of movement of the X-carriage and transversely with respect to the longitudinal axis 10.

[0082] It will be apparent that the above-described method and apparatus according to the invention have been set forth solely by way of example and that various other modifications and alterations may be made therein without departing from the spirit and scope of the invention.

[0083] The foregoing disclosure has been set forth merely to illustrate the invention and is not intended to be limiting. Since modifications of the disclosed embodiments incorporating the spirit and substance of the invention may occur to persons skilled in the art, the invention should be construed to include everything within the scope of the appended claims and equivalents thereof.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

## Claims

What is claimed is:

[0084] 1. A method of cutting machining a workpiece with rotationally symmetric surfaces, comprising the steps of: a first cutting machining operation in which a first cutting speed is produced primarily by rotation of the workpiece; and a second cutting machining operation in which a second cutting speed is produced primarily by rotation of a tool; wherein the workpiece is a crankshaft having an end flange and an end journal, and at least one of the end flange and the end journal is also machined within a same working procedure without removal from a machine which implements machining of remaining regions of the workpiece; wherein when the crankshaft is held between two points a central bearing is cutting machined by means of at least one of turning and rotational broaching and turning-rotational broaching at a periphery of the central bearing; wherein additional support for the crankshaft is effected at the machined central bearing and wherein cutting machining of at least one of the end flange and the end journal is effected at least at peripheral surfaces thereof by at least one of turn and rotational broaching and turning-rotational broaching, clamping of the crankshaft is effected at the machined peripheral surfaces of the end flange and the end journal; machining of the central bearings at least at the peripheral surface is effected by at least one of turning and rotational broaching and turning-rotational broaching, and machining of crank throw bearings at least at one of the periphery and crank side cheek end faces is effected by at least one of external milling and rotary milling.

[0085] 2. The method according to claim 1, wherein the cutting machining of the workpiece is provided both by means of at least one of an external milling and rotary milling, and also by means of at least one of turning and rotational broaching and turning-rotational broaching.

[0086] 3. The method according to claim 2, wherein the external milling is high-speed milling.

[0087] 4. The method according to claim 2, wherein the cutting machining of the workpiece is provided by means of rotary milling.

[0088] 5. The method according to claim 4, wherein the milling is high-speed rotary milling.

[0089] 6. The method according to claim 1, wherein both said first cutting machining operation and said second cutting

machining operation are effected in the clamping configuration.

[0090] 7. The method according to claim 1, wherein at least one of said first and second cutting machining operation of the workpiece is effected simultaneously at a plurality of locations.

[0091] 8. The method according to claim 1, wherein at least one of first and second cutting machining operation is accomplished by turning rotational broaching or turning-rotational broaching which is effected after hardening of the workpiece.

[0092] 9. The method according to claim 1, wherein hardening is effected while the workpiece is clamped in a machine without removing the workpiece from the machine.

[0093] 10. The method according to claim 9, wherein hardening is effected by means of laser.

[0094] 11. The method according to claim 9, wherein hardening is effected by means of an inductor.

[0095] 12. The method according to claim 1, including the farther step of targeted removal of material effected by means of a laser beam.

[0096] 13. The method according to claim 1, including the farther step of targeted removal of material effected by means of water jet.

[0097] 14. The method according to claim 1, wherein milling is effected at high speed.

[0098] 15. The method according to claim 1, wherein said cutting machining includes cutting machining of at least one of said end flange and said end journal is effected simultaneously with said support for the crankshaft.

[0099] 16. The method according to claim 15, wherein, prior to applying the clamping action at the peripheral surfaces of at least one of the end flange and the end journal, a mounting between mounting points is at least partially released to release the crankshaft.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - I2



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 49 939 A 1**

⑰ Aktenzeichen: 197 49 939.2  
⑱ Anmeldetag: 11. 11. 97  
④ Offenlegungstag: 20. 5. 99

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 23 P 23/04**  
B 23 P 17/00  
B 23 B 5/18  
B 23 C 3/02  
B 23 C 3/06  
B 23 D 37/14  
C 21 D 1/09  
B 23 K 26/00

**DE 197 49 939 A 1**

⑦① Anmelder:  
Boehringer Werkzeugmaschinen GmbH, 73033  
Göppingen, DE

⑦④ Vertreter:  
Anwaltssozietät Vogeser, Liedl, Alber, Dr. Strych,  
Müller und Kollegen, 81369 München

⑦② Erfinder:  
Santorius, Rolf, 73066 Utingen, DE; Kohlhase,  
Matthias, 78713 Schramberg, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ HS-Fräsen + Drehen/Drehräumen/Dreh-Drehräumen

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken mit rotationssymmetrischen Flächen, z. B. von Kurbelwellen, wie sie für Hubkolben-Verbrennungsmotoren, Hubkolben-Verdichter etc. verwendet werden, durch die eine Minimierung der Rüst- und Nebenzeiten erreicht wird, insbesondere ein Umspannen des Werkstückes auf eine andere Maschine vermieden wird, und sowohl große Losgrößen als auch kleine Stückzahlen wirtschaftlich bearbeitet werden. Ein erfindungsgemäßes Verfahren kennzeichnet sich dadurch aus, daß die Bearbeitung des Werkstückes sowohl durch solche Verfahren bewirkt wird, bei denen die Schnittgeschwindigkeit primär durch die Drehung des Werkstückes erzeugt wird, als auch durch solche Bearbeitungsverfahren, bei denen die Schnittgeschwindigkeit primär durch die Drehung des Werkzeuges erzielt wird.

**DE 197 49 939 A 1**



## I. Anwendungsgebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bearbeiten von Werkstücken mit rotationssymmetrischen Flächen insbesondere kompliziert geformten und instabilen Werkstücken mit rotationssymmetrischen auch exzentrischen Flächen. Ein typischer Vertreter eines solchen Werkstückes ist eine Kurbelwelle, wie sie für Hubkolben-Verbrennungsmotoren Hubkolben-Verdichter etc. verwendet wird.

## II. Technischer Hintergrund

Die Bearbeitung der rohen, also geschmiedeten oder gegossenen, aus Stahl oder Guß bestehenden, Kurbelwelle, erfolgt heute in der Regel durch die bekannten spanenden Bearbeitungsverfahren. Da der häufigste Anwendungsfall für Kurbelwellen die in einem Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeuges ist, werden derartige Kurbelwellen in der Regel in sehr großen Stückzahlen hergestellt, weshalb meist bei der Auswahl des Bearbeitungsverfahrens und der hierfür gewählten Maschinenausstattung dasjenige Verfahren gewählt wird, welches die kürzestmögliche Bearbeitungszeit pro Kurbelwelle erwarten läßt.

Nach heutigem Standard bedeutet dies in der Regel, daß die Mittellager der Kurbelwelle mittels Drehräumen bzw. Dreh-Drehräumen, beispielsweise gemäß DE 35 23 274 C2 oder EP 86 108 666 bearbeitet werden, während die Hublager und ggf. auch die Wangenstirnflächen mittels Außenfräsen, insbesondere Hochgeschwindigkeits-Außenfräsen, beispielsweise gemäß DE 196 26 627 A1 bearbeitet werden oder mittels Innenfräsen (Wirbeln), oder mittels Drehfräsen, z. B. gemäß DE 44 46 475.

Alternativ zum Außenfräsen kann auch das sogenannte Drehfräsen eingesetzt werden. U. U. findet die jeweilige spanende Bearbeitung im bereits gehärteten Zustand des Werkstückes statt. Dabei soll unter den eben verwendeten Begriffen folgendes verstanden werden:

## Drehräumen

Auf dem Umfang eines scheibenförmigen Werkzeuges sind in Umfangsrichtung beabstandet Drehräum schneiden angeordnet, deren Abstand zur Mitte des drehbaren scheibenförmigen Werkzeuges zunimmt. Dieses scheibenförmige Werkzeug dreht mit seiner Achse parallel neben der Achse der Kurbelwelle, und durch Entlangschwenken der Drehräum schneiden am Umfang der wesentlich schneller drehenden Kurbelwelle (ca. 1.000 U/min) wird Material an der Umfangsfläche abgenommen. Falls die Drehräum schneiden zur Mitte des Werkzeuges alle den gleichen Abstand besitzen, muß zwischen den Werkzeugschneiden eine Zustellung radial zur Kurbelwelle, in X-Richtung, erfolgen. Diese Vorgänge können auf mehrere Schneiden verteilt werden, bzw. durch Schwesterwerkzeuge ergänzt werden.

## Dreh-Drehräumen

Dabei handelt es sich um das vorbeschriebene Drehräumen, wobei diesem ein Einstech-Drehvorgang vorgeschaltet ist, welcher mittels einer Schneide durchgeführt wird, die ebenfalls auf dem Umfang des scheibenförmigen Werkzeuges angeordnet ist. Das Einstechdrehen wird durchgeführt, indem sich das scheibenförmige Werkzeug während des Eingriffs der Schneide nicht dreht, sondern lediglich radial gegen das Werkstück vorwärts bewegt wird.

Auch hier sind die Schneiden auf dem Umfang eines scheibenförmigen Werkzeuges angeordnet, welches drehend antreibbar ist mit einer Achse parallel zur Achse des Werkstückes. Die Schnittgeschwindigkeit resultiert jedoch primär aus der Drehung des Werkzeuges, während sich das Werkstück nur mit ca. 10 U/min so lange dreht, bis ein mindestens vollständiger Umlauf des Werkzeuges um die zu bearbeitende rotationssymmetrische Fläche des Werkstückes vollzogen ist.

Vor allem bei großen Aufmaßen sind mehrere Umläufe des Werkzeuges notwendig, und selbst wenn aufgrund des Aufmaßes ein einziger Durchgang ausreichend erscheint, ist oft wegen des tangentialen Ein- und Ausfahrens des Werkzeuges mehr als ein vollständiger Umlauf notwendig.

Das scheibenförmige Werkzeug ist über den gesamten Umfang mit Fräszähnen besetzt.

Der Abstand der Schneiden in Umfangsrichtung zueinander kann ggf. kleiner sein als beim Drehräumen bzw. Dreh-Drehräumen, bei welchem meist beabsichtigt ist, die Bearbeitung mit der einen Schneide zu beenden, bevor die nächste Schneide in Eingriff gerät.

## Scheibenförmiges Werkzeug

In der Regel wird es sich dabei um eine Kreisscheibe handeln. Theoretisch sind jedoch auch nicht kreisförmige Scheiben, z. B. Ellipsen etc., verwendbar. Vorzugsweise weisen die Scheiben jedoch immer nur konvex nach außen gekrümmte Umfangskonturen und dabei insbesondere keine harten Absätze in der Umfangskontur auf. Falls Kavitäten in der Umfangskontur vorhanden sind, sind diese nicht mit Schneiden besetzt.

## Drehfräsen

Im Gegensatz zum Außenfräsen wird das Drehfräsen mit einem meist fingerförmigen Fräser betrieben, dessen Drehachse orthogonal zur Rotationsachse des zu bearbeitenden Werkstückes steht.

Mit der einen oder den mehreren stirnseitigen Schneiden eines solchen Fingerfräses werden die Umfangsflächen bearbeitet, und mit den auf den Mantel des Fingerfräses angeordneten Schneiden die Stirnflächen des Werkstückes.

## Hochgeschwindigkeitsfräsen (Drehfräsen oder Außenfräsen)

Darunter wird Fräsen mit einer Schnittgeschwindigkeit von z. B. bei Stahl: über 130 m/min, insbesondere über 180 m/min, bei Guß: über 150 m/min, insbesondere über 200 m/min, bei ALU über 300 m/min, insbesondere über 500 m/min verstanden. Unterstützt werden derartige Schnittgeschwindigkeiten vor allem durch eine positive Schneidengeometrie und die entsprechende Schneidstoffwahl.

Durch diese hohe Schnittgeschwindigkeit werden die beim Frässystem immanenten Nachteile des unterbrochenen Schnittes so stark minimiert, daß die Vorteile überwiegen.

Dabei wurden bisher die Bearbeitungen Drehen/Drehräumen/Dreh-Drehräumen einerseits sowie die Bearbeitung durch Außenfräsen oder Drehfräsen, also allgemein das Fräsen, andererseits nicht kombiniert zum Einsatz gebracht, da dies aufgrund der völlig anderen notwendigen Drehzahlbereiche für das Werkstück als unsinnig betrachtet wurde. Während beim Drehen/Drehräumen/Dreh-Drehräumen die Schnittgeschwindigkeit primär aus der Drehzahl des Werk-

stückes, die bei ca. 1.000 U/min für eine Pkw-Kurbelwelle liegt, erzielt wurde, und das scheibenförmige Werkzeug nur mit einer Geschwindigkeit von weniger als 30 U/min eingeschwenkt bzw. gedreht wurde, ist dies beim Außenfräsen/Drehfräsen, insbesondere beim Hochgeschwindigkeitsfräsen mit diesen Verfahren, etwa diametral umgekehrt.

Entsprechend liegen auch die bei solchen Bearbeitungen auftretenden Probleme auf völlig unterschiedlichen Gebieten:

Beim Drehen/Drehräumen/Dreh-Drehräumen ist allein schon aufgrund der hohen Drehzahl des Werkstückes eine Realisierung der C-Achse (Drehlagenüberwachung des Werkstückes) nicht notwendig, da eine davon abhängige koordinierte Nachführung des Werkzeuges in X-Richtung ohnehin in dieser Geschwindigkeit nicht möglich ist.

Die Hauptschwierigkeiten aufgrund der hohen Drehzahlen liegen also im Bereich der Spannkraft, des Unwuchtausgleichs etc.

Beim Außenfräsen/Drehfräsen dagegen ist – da hiermit unter anderem die Hublager bearbeitet werden sollen – eine Realisierung der C-Achse unbedingt notwendig. Die Probleme liegen in der ausreichend steifen Spannung bzw. Abstützung des Werkstückes sowie in der – nur einseitigen – stabilen und exakten Einspannung des großen, schweren Werkzeuges. Insbesondere bei hohen Genauigkeiten besteht das Problem des guten Laufes und Wuchtzustandes des Werkzeuges und der Werkzeugachse.

### III. Darstellung der Erfindung

#### a) Technische Aufgabe

Es ist daher die Aufgabe gemäß der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Bearbeiten von Werkstücken mit rotationssymmetrischen, auch exzentrischen, Flächen, insbesondere von Kurbelwellen, zu schaffen, durch die eine Minimierung der Rüst- und Nebenzeiten erreicht wird, insbesondere ein Umspannen des Werkstückes auf eine andere Maschine vermieden wird, und sowohl große Losgrößen als auch kleine Stückzahlen wirtschaftlich bearbeitet werden.

#### b) Lösung der Aufgabe

Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 15 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Indem zwei prinzipiell unterschiedliche Verfahren – was die Bewirkung der Relativgeschwindigkeit zwischen Werkzeug und Werkstück betrifft – am Werkstück zum Einsatz gebracht werden, kann für die jeweilige Arbeitsstelle und damit in der Summe über das Werkstück betrachtet die sowohl technisch als auch wirtschaftlich günstigste Bearbeitungsart gewählt werden. Werden die beiden Verfahren auf ein und derselben Maschine angewandt, entfallen erhebliche Rüst- und Nebenzeiten für das Umsetzen des Werkstückes auf eine andere Maschine, sowie die durch das Umspannen bedingten Bearbeitungsungenauigkeiten.

Vorzugsweise wird dabei das Werkstück auch innerhalb der Maschine nicht vollständig ausgespannt und neu eingespannt, sondern wenn möglich nur auf einer Seite der Kurbelwelle die Spannung kurzzeitig aufgehoben.

Auf diese Art und Weise ist die Bearbeitung der Mittellager durch Drehräumen bzw. Dreh-Drehräumen möglich, und selbstverständlich auch durch einfaches Drehen, während die Hublagerzapfen – unter Umständen in der gleichen Aufspannung – mittels Außenfräsen oder Drehfräsen bearbeitet werden können, und ebenso die Wangenstirnflächen.

Wenn zusätzlich die Möglichkeit besteht, die Kurbelwelle zwischen Spitzen aufzunehmen und das zur Bearbeitung notwendige Drehmoment zu erbringen, können innerhalb der gleichen Maschine und vorzugsweise mittels Drehen oder Drehräumen oder Dreh-Drehräumen zuerst auch der Endflansch und der Endzapfen der Kurbelwelle bearbeitet werden, um an diesen dann bearbeiteten Flächen eine Spannung mittels Spannbacken am Umfang vornehmen zu können.

Hierfür eignen sich insbesondere solche Spannfutter, bei welchen sich die am Umfang des Werkstückes greifenden Spannbacken relativ zur im Zentrum geführten Spitze, einer Reitstockspitze, axial verschieben und zurückziehen lassen, um somit einen Übergang von der Aufnahme zwischen Spitzen zur Spannung am Umfang mittels Backen, und sogar Mischformen aus beiden Aufnahmemöglichkeiten, realisieren zu können.

Vorzugsweise sind die Werkzeugeinheiten auch in Y-Richtung verfahrbar, und ggf. auch um diese Achse, die B-Achse, drehbar, wobei auch zusätzliche Bohr- und Fräseinheiten auf einem Werkzeugsupport vorhanden sein können.

Eine entsprechende Maschine verfügt zu diesem Zweck vorzugsweise über Spannfutter, die sowohl über Spannsitzen als auch über Spannbacken verfügen, und bei denen die Spannsitzen gegenüber den Spannbacken in axialer Richtung (Z-Richtung) so verlagerbar sind, daß bei Spannung zwischen Spitzen die dann zurückgezogenen Spannbacken die Bearbeitung am Umfang von Endzapfen und Endflansch nicht behindern.

Eine derartige Maschine wird vorzugsweise zwei Bearbeitungseinheiten aufweisen, von denen die eine das Bearbeitungsverfahren Drehen oder Drehräumen oder Dreh-Drehräumen oder eine Kombination hieraus ermöglicht, während die andere das Außenfräsen oder Drehfräsen, insbesondere unter Hochgeschwindigkeit, ermöglicht. Diese mindestens zwei Bearbeitungseinheiten werden insbesondere auch auf separaten und auch separat ansteuerbaren Supporten angeordnet sein, die wenigstens in X-Richtung, vorzugsweise auch in Y-Richtung verlagerbar sind, und ggf. um die B-Achse drehbar.

Die Bearbeitungseinheiten können von der gleichen Seite des Werkstückes angeordnet sein, oder auch auf gegenüberliegenden Seiten, oder im Winkel relativ zueinander. Zusätzlich müssen die Werkzeugeinheiten auch in Z-Richtung entlang des Werkstückes verfahrbar sein, um ihre Bearbeitung an unterschiedlichen Axialpositionen des Werkstückes vollziehen zu können.

Zusätzlich oder auch anstelle einer der Bearbeitungseinheiten kann eine nicht spannende Bearbeitungseinheit vorgesehen sein. Dies könnte eine Wasserstrahlschneidvorrichtung, eine Laserschneidvorrichtung oder eine Einrichtung zur Wärmebehandlung, insbesondere eine Laserhärtevorrichtung sein. Auch eine solche nicht spannende Bearbeitungseinheit ist vorzugsweise in Z-Richtung verfahrbar, ggf. auch in X- und in Y-Richtung.

Eine Bewegung in X-Richtung ist jedoch je nach Bearbeitungsverfahren nicht unbedingt notwendig, da statt einer Veränderung des radialen Abstandes zwischen Werkzeug-einheit und Werkstück z. B. bei einem Laser lediglich die Fokussierung nachgeführt werden muß und analoges auch beim Wasserstrahlschneiden möglich ist.

Insgesamt ergibt die vorhandene Kombination an Bearbeitungsverfahren bzw. Bearbeitungseinheiten die Möglichkeit, auch sehr kleine Losgrößen und sogar Einzelstücke einer bestimmten Kurbelwelle unter noch vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand herzustellen, wobei es unwesentlich ist, daß die Bearbeitungszeit in diesem Fall ein Mehrfaches der Bearbeitungszeit bei Großserienherstellung von Kurbel-

wellen beträgt.

In diesem Zusammenhang ist auch das Härten in der Maschine z. B. mittels Laserstrahl, insbesondere der Lagerflächen, zu sehen, da auf diese Art und Weise vor allem das Ausspannen, Durchlaufen eines separaten Härteprozesses und neu Einspannen der Kurbelwelle in einer anderen Maschine vermieden wird, in der dann die Nachbearbeitung nach dem Härten, insbesondere das Schleifen, vollzogen wird. Zusätzlich erfolgt das Härten nur an den tatsächlich benötigten Stellen, wodurch auch der auftretende Wärmeverzug der Kurbelwelle minimiert bzw. gezielt gesteuert werden kann, indem bestimmte Bereiche der Kurbelwelle in einer bestimmten Art und Weise hinsichtlich Höhe, zeitlicher Reihenfolge und zeitlichem Verlauf der Erwärmung und Abkühlung unterworfen werden.

Ein weiterer Vorteil des Härten, z. B. mittels Laserstrahl, innerhalb der Maschine liegt darin, daß sogar während der für das Härten erforderlichen Erwärmung von Bereichen der Kurbelwelle mittels Laserstrahl in diesen erwärmten Bereichen eine spanende Bearbeitung mittels eines der vorgenannten Verfahren möglich ist, was die bei der spanenden Bearbeitung auftretenden Kräfte drastisch reduziert. Dabei kann die spanende Bearbeitung auch in der Abkühlungszeit stattfinden bzw. sich in diese hineinziehen, so daß während der zeitgleichen Abkühlung und damit dem Auftreten des Wärmeverzuges und der spanenden Bearbeitung der im Endeffekt zurückbleibende Wärmeverzug minimal gehalten werden kann.

Um die extrem unterschiedlichen Drehzahlen des bzw. der Spindelstöcke zum Antrieb des Werkstückes, wie sie bei den beiden Verfahrensgruppen notwendig sind, realisieren zu können, weisen diese Antriebe beispielsweise neben Motorspindel bzw. Motor ggf. ein schaltbares bzw. ein zuschaltbares Zwischengetriebe auf, welches einen Übersetzungsgrad bzw. Untersetzungsgrad in der Größenordnung von 1:100 aufweisen muß. Gekoppelt mit dem schaltbaren Zwischengetriebe könnte auch die Realisierung der C-Achse am Spindelstock sein, welche lediglich in der langsameren Betriebsart vorhanden sein muß.

#### c) Ausführungsbeispiele

Eine Ausführungsform gemäß der Erfindung ist im folgenden anhand der Figuren beispielhaft näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Maschine zur spanenden Bearbeitung durch zwei Bearbeitungseinheiten in der Frontansicht sowie in der Seitenansicht,

Fig. 2 eine ähnliche Maschine in der Seitenansicht,

Fig. 3 eine Abwandlung der Maschine gemäß Fig. 1 in der Seitenansicht,

Fig. 4 eine Seitenansicht einer gegenüber Fig. 2 abgewandelten Maschine,

Fig. 5 eine andere Abwandlung der Seitenansicht der in Fig. 2 dargestellten Maschine, sowie

Fig. 6 eine Seitenansicht einer weiteren Maschinenform.

Die Fig. 1a und 1b zeigen eine Vorrichtung zum spanenden Bearbeiten einer Kurbelwelle KW in der Frontansicht sowie in der Seitenansicht, also in Blickrichtung der Längsachse 10 der Kurbelwelle KW.

In der Frontansicht der Fig. 1a ist das Bett 3 der Maschine zu erkennen, auf welchem die beiden Spindelstöcke 4, 5 angeordnet sind, von denen der eine Spindelstock 5 in der axialen, Z-Richtung verfahrbar ist, um ein Einlegen und Entnehmen der Kurbelwelle zu ermöglichen.

Die Kurbelwelle KW ist an den beiden Enden jeweils in einem Futter 6a, 6b gespannt, welches auf einem der Spindelstöcke 4, 5 sitzt und von diesem drehend angetrieben

wird. Die Spindelstöcke 4, 5 sind entweder elektronisch oder mechanisch synchronisiert, oder anstelle des einen Spindelstockes 5 ist lediglich ein frei mitlaufender Reitstock ohne eigenen Antrieb vorhanden.

Entlang einer Z-Führung 33 sind parallel zum Werkstück zwei oder mehrere Werkzeugsupporte 1, 2 entlang des Bettes 3 verfahrbar, welche jeweils ein oder mehrere Werkzeuge tragen. Dabei handelt es sich in einem Fall um ein scheibenförmiges Drehfräswerkzeug 11, im anderen Fall um ein scheibenförmiges Drehräumwerkzeug 14 bzw. Dreh-Drehräumwerkzeug 15. Die scheibenförmigen Werkzeuge sind jeweils drehend um eine C<sub>2</sub>-Achse parallel zur Z-Richtung antreibbar bzw. schwenkbar, und sind auf einen in X-Richtung, also radial quer zur Kurbelwelle verfahrbaren X-Schlitten 35 angeordnet, welche auf dem Werkzeugsupport 1, 2 angeordnet ist.

Eine zusätzliche Verfahrbarkeit des Fingerfräfers 12 in Y-Richtung erschließt weitere Bearbeitungsmöglichkeiten.

Wie der Seitenansicht der Fig. 1b zu entnehmen, kann es sich dabei um eine Schrägbettmaschine handeln, bei der also die Z-Führung etwa auf der Höhe der Längsachse 10 angeordnet ist, und der X-Schlitten 35 schräg von oben her gegen das in Fig. 1b nicht dargestellte Werkstück, also die Längsachse 10, bewegbar ist.

Während bei der Ausführungsform gemäß Fig. 1b die beiden Werkzeugsupporte 1, 2 in Blickrichtung der Fig. 1b hintereinander angeordnet sind, zeigt Fig. 2 die Seitenansicht einer Bauform, in der das Bett 3 symmetrisch aufgebaut ist, und die beiden Werkzeugsupporte 1, 2 V-förmig so angeordnet sind, daß ihre X-Schlitten unter einem vorzugsweise spitzen Winkel zueinander verfahrbar gegen die Längsachse 10 der Maschine sind.

In der Frontansicht der Fig. 1a sind das Drehfräswerkzeug 11 und das Drehräumwerkzeug 14 im gleichzeitigen Einsatz dargestellt, was in der Praxis der eher seltene Fall sein dürfte.

Mittels des Drehfräswerkzeuges 11 werden wie ersichtlich vorzugsweise die Hublager 16a-16c bearbeitet. Das Drehfräswerkzeug 11 muß also einen solchen Durchmesser besitzen und über seinen ihn tragenden X-Schlitten 35 radial, in X-Richtung, so weit vorstehen, daß die Bearbeitung der Hublager trotz der Längsachse 10 weiter abstrebenden Wangen kollisionsfrei möglich ist. Auch die Wangenstirnflächen und ggf. Wangenumfangsflächen werden vorzugsweise mittels des Drehfräfers 11 bearbeitet.

Die Kurbelwelle KW steht dabei still (vorzugsweise beim nur radialen Eintauchen des Drehfräswerkzeuges 11) bzw. dreht sich langsam (beim tangentialen Eintauchen) um mindestens eine volle Umdrehung, bis der Hublagerzapfen 16, ggf. einschließlich seiner Spiegelflächen und der angrenzenden Wangenstirnflächen - fertig bearbeitet ist. Dabei ist teilweise die Kenntnis der Drehlage der Kurbelwelle KW notwendig, also eine gesteuerte C-Achse des Spindelstockes bzw. der Spindelstöcke 4, 5 sowie eine definierte Drehlage der Kurbelwelle KW bezüglich der Futter 6a, 6b.

Im Gegensatz dazu bearbeitet das Drehräumwerkzeug 14 bzw. Dreh-Drehräumwerkzeug 15 die Mittellager 17, ggf. ebenfalls einschließlich der Ölbünde, Spiegelflächen etc. Dabei wird die Kurbelwelle KW sehr schnell drehend angetrieben, ohne daß die genaue Drehlage bekannt sein muß, während das Drehräumwerkzeug 14 bzw. 15 relativ langsam parallel zur Kurbelwelle rotiert bzw. verschwenkt wird, oder sich überhaupt nicht dreht, während lediglich mit einer Schneide des Werkzeuges eine Linstech-Drehbearbeitung vorgenommen wird. Eine Maschinensteuerung 36 koordiniert die Z- und X-Bewegung der Werkzeuge, die Drehbewegungen bzw. Schwenkbewegungen der Werkzeuge und ggf. die Drehzahl bzw. ggf. auch die Winkelstellung der

Kurbelwelle KW.

Um mit einer solchen Maschine eine rohe Kurbelwelle möglichst in einer Aufspannung fertigbearbeiten zu können, also auch den Endflansch 21 und den Endzapfen 22 mitbearbeiten zu können, sind spezielle Futter 6a, 6b verwendet, wie in der Detailvergrößerung der Fig. 1a dargestellt:

Diese Futter können einerseits über jeweils eine zentrale Spitze 8 verfügen, mit deren Hilfe in bekannter Weise das Werkstück durch Längsreifen in eine stirnseitige Zentrierbohrung in Spitzen gespannt werden kann.

Darüber hinaus verfügt dieses Futter über insbesondere rückziehbare, die schwimmend oder zentrierend das Werkstück an einem Außenumfang spannen.

Für das Bearbeiten der rohen, geschmiedeten oder gegossenen Kurbelwelle, die lediglich als Vorbearbeitung die genannten Zentrierbohrungen aufweist, wird die Kurbelwelle zunächst an den Enden zwischen den Spitzen 8 aufgenommen und Drehmoment aufgebracht, und in dieser Aufspannung z. B. eines der in der Längsmittte befindlichen Mittellager, z. B. 17b, mittels Drehen, Drehräumen oder Dreh-Drehräumen am Umfang bearbeitet. Diese erste bearbeitete Stelle dient dann zum Ansetzen einer Stützvorrichtung, Linette oder Ähnlichem, über welche auch der Drehantrieb der Kurbelwelle erfolgen kann (nicht dargestellt). Mit dieser Abstützung/Antrieb ist es nunmehr möglich, mit den vorhandenen Werkzeugen den Endflansch 21 sowie den Endzapfen 22 am Umfang und ggf. auch an der außenliegenden Stirnfläche bis in die Nähe der Zentrierbohrung zu bearbeiten. Anschließend kann die Kurbelwelle an diesen bearbeiteten Umfangsflächen von Endflansch 21 und Endzapfen 22 mittels der Spannbacken 7 gespannt und die Kurbelwelle an allen anderen gewünschten Stellen bearbeitet werden.

Zu diesem Zweck greifen vorzugsweise die Backen 7 schwimmend oder zentrierend am Umfang von Endflansch bzw. Endzapfen, ohne daß vorher oder gleichzeitig die Spannung zwischen den Spitzen 8 aufgegeben wird, um keine Positionierfehler der Kurbelwelle KW gegenüber den Spannfuttern 6a, 6b zu bewirken.

Um dies zu ermöglichen, sind die Backen 7 in axialer Z-Richtung relativ zu den Spitzen 8 verlagerbar und vor allem soweit gegenüber den Spitzen 8 zurückziehbar, daß keine Kollision bei der Bearbeitung der Enden der Kurbelwelle auftreten kann.

Fig. 3 zeigt demgegenüber eine Bauform einer Maschine in der Seitenansicht, bei der auf einem einzigen, in Z-Richtung verfahrbaren Werkzeugsupport 1 zwei scheibenförmige Werkzeuge, nämlich einerseits ein Außenfräswerkzeug 11 und andererseits ein Drehräumwerkzeug 14, auf einem Schwenkträger 37 angeordnet sind, welcher wiederum auf dem X-Schlitten 35 positioniert ist. Ausgehend von der Überlegung, daß unter völlig unterschiedlichen notwendigen Drehzahlen des Werkstückes beim Außenfräsen bzw. Drehfräsen einerseits und beim Drehen bzw. Drehräumen bzw. Dreh-Drehräumen andererseits können die beiden Werkzeuge in der Regel nicht gleichzeitig am Werkstück zum Einsatz kommen, so daß die Anordnung auf einem gemeinsamen Werkzeugsupport den Aufbau eines zweiten Supportes erspart bzw. Platz für weitere Bearbeitungseinheiten schafft.

Auch in diesem Fall ist der X-Schlitten schräg von oben nach unten gegen das Werkstück verfahrbar, und das Werkstück befindet sich über einer Spänwanne, die im Maschinenbett 3 ausgebildet ist.

Fig. 4 zeigt eine Lösung ähnlich Fig. 2, wobei jedoch das Außenfräswerkzeug 11 durch einen Fingerfräser 12 ersetzt ist. Dieser ist in der Regel auf dem X-Schlitten 35 nicht drehbar, sondern lediglich schwenkbar um eine parallel zur Y-Achse 10 angeordnete C<sub>2</sub>-Achse verschwenkbar, um eine

Nachführung der Stirnfläche des fingerförmigen Fingerfräfers 12, an welchem die einzige stirnseitige Schneide dargestellt ist, mit den Hublagerzapfen der rotierenden Kurbelwelle zu ermöglichen.

Alternativ dazu ist es auch möglich, das Werkzeug, also beispielsweise den Fingerfräser 12, anstatt des Verschwenkens auch in der zweiten Querrichtung zur Werkstücklängsachse, der Y-Richtung, beweglich am Werkzeugsupport anzuordnen, und eine gesteuerte Überlagerung der X- und Y-Bewegung in der Nachführung bezüglich des zu bearbeitenden Werkstückes zu erzielen.

Der fingerförmige Fingerfräser 12 bearbeitet mit seinen stirnseitigen Schneiden eine Umfangsfläche des Werkstückes. Bei Verwendung nur einer einzigen radial von der Mitte des Fingerfräfers nach außen laufenden stirnseitigen Schneide ergeben sich besonders gute Oberflächen am bearbeiteten Werkstück.

Die meist spiralförmigen Schneiden auf der Mantelfläche des Fingerfräfers dienen der Bearbeitung von Stirnflächen am Werkstück, also beispielsweise von Wangenstirnflächen.

Fig. 5 zeigt eine Maschine in der Seitenansicht, die von ihrem Aufbau dem Aufbau in der Fig. 2 bzw. 4 entspricht. Auf dem Werkzeugsupport 1 ist jedoch anstelle eines spannenden Werkzeuges eine nichtspannende Bearbeitungseinheit angeordnet, welche wiederum gegenüber dem Werkzeugsupport, insbesondere deren X-Schlitten 35, entweder um eine in Z-Richtung verlaufende Achse schwenkbar oder zusätzlich in Y-Richtung gesteuert verlagerbar ist.

Bei einer solchen nichtspannenden Bearbeitungseinheit kann es sich beispielsweise um eine Laserschneideeinheit, eine Laserhärteeinheit oder um eine Wasserstrahlschneideeinheit handeln, weshalb symbolisch ein austretender Strahl 38 eingezeichnet ist. Bei ausreichender Bündelung des Strahles kann die nichtspannende Bearbeitungseinheit 34 während der Arbeit am Werkstück soweit von diesem entfernt sein, daß es möglich ist, selbst bei der V-förmigen Anordnung der Werkzeugsupporte 1 und 2, wie in Fig. 5 dargestellt, an der gleichen Bearbeitungsstelle das Werkstück, beispielsweise ein Drehräumwerkzeug 14, des anderen Supportes 2 zum Einsatz zu bringen, ohne daß Kollisionen zu befürchten sind.

Demgegenüber zeigt Fig. 6 – ebenfalls in der Seitenansicht – eine Maschine, bei der zwei Werkzeugsupporte 1, 2 auf gegenüberliegenden Seiten des Werkstückes angeordnet sind, und deren X-Schlitten 35 vorzugsweise in der gleichen X-Ebene aus gegeneinander gegen das in Fig. 6 nicht dargestellte Werkstück, also gegen die Längsachse 10 der Maschine, verfahrbar sind.

Dabei tragen die Supporte 1 und 2, wie in den Fig. 1 und 2 beschrieben, einerseits ein drehbares scheibenförmiges Drehfräswerkzeug 11 und andererseits ein drehbares bzw. schwenkbares, scheibenförmiges Drehräumwerkzeug 14 bzw. Dreh-Drehräumwerkzeug 15. Zusätzlich ist in der Fig. 6 jedoch auf einer der beiden Z-Führungen 33, 33' des Bettes 3 ein weiterer Werkzeugsupport 40 verfahrbar, welcher eine bereits anhand der Fig. 5 vorbeschriebene und erläuterte nichtspannende Bearbeitungseinheit 34 trägt. Die nichtspannende Bearbeitungseinheit 34 ist auch hier entweder gegenüber dem sie tragenden X-Schlitten 41 entweder verschwenkbar um eine Achse parallel zur Z-Richtung, oder in Y-Richtung, also quer zur Bewegungsrichtung des X-Schlittens und quer zur Längsachse 10, gesteuert verlagerbar.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Werkzeugsupport
- 2 Werkzeugsupport
- 3 Bett

4 Spindelstock	
5 Spindelstock	
6a, 6b Futter	
7 Backen	
8 Spitzen	5
10 Längsachse	
11 Außenfräser	
12 Fingerfräser	
13 Drehwerkzeug	10
14 Drehräumwerkzeug	
15 Dreh-Drehräumwerkzeug	
16 Hublagerzapfen	
17 Mittellagerzapfen	
18 Antrieb	
19 Zwischengetriebe	15
20 Kurbelwelle	
21 Endflansch	
22 Endzapfen	
23 Wangenstirnfläche	
27 Fräser-Antrieb	20
28 Drehräum-Antrieb	
31 X Antrieb 1	
32 X Antrieb 2	
33 Z-Führung	
34 nichtspanende Bearbeitungseinheit	25
35 X-Schlitten	
37 Schwenkträger	
38 Strahl	
40 Werkzeugsupport	
41 X-Schlitten	30

## Patentansprüche

1. Verfahren zur spanenden Bearbeitung von Werkstücken mit rotationssymmetrischen auch exzentrischen Flächen, insbesondere Kurbelwellen oder Nockenwellen, indem die Bearbeitung des Werkstückes
  - sowohl durch solche Verfahren bewirkt wird, bei denen die Schnittgeschwindigkeit primär durch die Drehung des Werkstückes erzeugt wird, 35
  - als auch durch solche Bearbeitungsverfahren, bei denen die Schnittgeschwindigkeit primär durch die Drehung des Werkzeuges erzielt wird. 40
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungsverfahren spanende Bearbeitungsverfahren sind. 45
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück sowohl mittels Außenfräsen oder Drehfräsen, insbesondere mit Hochgeschwindigkeit, als auch mittels Drehen bzw. Drehräumen bzw. Dreh-Drehräumen bearbeitet wird. 50
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Werkstück mittels Drehfräsen, insbesondere Hochgeschwindigkeits-Drehfräsen bearbeitet wird. 55
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung durch die unterschiedlichen Verfahren in einer Aufspannung geschieht. 60
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung des Werkstückes an mehreren Stellen gleichzeitig geschieht. 65
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere das Drehen/Drehräumen/Dreh-Drehräumen auch nach dem Härten der zu bearbeitenden Bereiche des Werk-

- stückes, insbesondere der Kurbelwelle geschieht.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Härten ohne Entfernen des Werkstückes aus der Maschine für die spanende Bearbeitung geschieht.
  9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Härten mittels Laser geschieht.
  10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Härten mittels eines Induktors geschieht.
  11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein gezielter Materialabtrag mittels Laserstrahl bewirkt wird.
  12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein gezielter Materialabtrag mittels Wasserstrahl bewirkt wird.
  13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auch der Endflansch (21) und/oder der Endzapfen (22) der Kurbelwelle innerhalb des gleichen Arbeitsprozesses, insbesondere ohne Entfernung aus der die Bearbeitung der übrigen Bereiche vornehmenden Maschine, vorgenommen wird.
  14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitung einer Kurbelwelle geschieht, indem
    - bei einer Spannung der Kurbelwelle (20) zwischen Spitzen (8a, 8b) ein Mittellager (17a), insbesondere ein in der Mitte der axialen Erstreckung befindliches Mittellager (17b) mittels Drehen und/oder Drehräumen und/oder Dreh-Drehräumen am Lagerumfang bearbeitet wird,
    - an dem bearbeiteten Mittellager (z. B. 17b) eine Abstützung der Kurbelwelle zusätzlich zur Spitzenspannung erfolgt und in dieser Spannung nacheinander oder gleichzeitig die Bearbeitung von Endflansch (21) und Endzapfen (22) wenigstens an deren Umfangsflächen durch Drehen und/oder Drehräumen und/oder Dreh-Drehräumen vorgenommen wird
    - die Spannung der Kurbelwelle nunmehr an den bearbeiteten Umfangsflächen von Endflansch (21) und Endzapfen (22) geschieht und im folgenden
    - die Bearbeitung der Mittellager wenigstens an der Umfangsfläche durch Drehen oder Drehräumen oder Dreh-Drehräumen vorgenommen wird und
    - die Bearbeitung der Hublager (16) am Umfang sowie ggf. der Wangenstirnflächen (23) durch Außenfräsen bzw. Drehfräsen, insbesondere unter Hochgeschwindigkeit, vorgenommen wird.
  15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß vor dem Anlegen der Spannung an den Umfangsflächen von Endflansch und/oder Endzapfen die Spitzenspannung wenigstens teilweise aufgegeben wird zur Entspannung der Kurbelwelle (20).
  16. Vorrichtung zum spanenden Bearbeiten von Werkstücken mit rotationssymmetrischen Flächen, insbesondere von Kurbelwellen (20) mit
    - wenigstens zwei Werkzeugsupporten (1, 2), die unabhängig voneinander wenigstens in einer Richtung (X-Richtung) quer zur Kurbelwellenlängsachse (10) (Z-Richtung) bewegbar sind, wobei
    - ein Werkzeugsupport (1) ein scheibenförmiges Drehfräswerkzeug (11) oder ein Orthogonalfräswerkzeug (12) trägt und
    - der andere Werkzeugsupport (2) ein Drehwerkzeug (13) oder ein scheibenförmiges Drehräum-

bzw. Dreh-Drehräumwerkzeug (14).

17. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Werkzeugsupporte (1, 2) auch parallel zur Längsachse (10), in Z-Richtung, verfahrbar sind. 5
18. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß das Außenfräswerkzeug (11) einen ausreichend großen Durchmesser besitzt, um einen vom Werkzeugsupport (1) abgewandten Hublagerzapfen (16) auf dessen Innenseite bearbeiten zu können. 10
19. Vorrichtung nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Fingerfräser (12) eine so große Länge besitzt, um einen vom Werkzeugsupport (1) abgewandten Hublagerzapfen (16) auf dessen Innenseite bearbeiten zu können. 15
20. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das scheibenförmige Drehräumwerkzeug (14) bzw. Dreh-Drehräumwerkzeug (15) einen so großen Durchmesser aufweist, um einen Mittellagerzapfen (17) bearbeiten zu können, ohne mit den Hublagerzapfen (16) bzw. den Wangen zu kollidieren. 20
21. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zwei Spindelstöcke (4, 5) zum Spannen und synchronen Antreiben der Enden der Kurbelwelle (20) aufweist. 25
22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß der bzw. die Spindelstöcke (4, 5) mit einem Antrieb (18) ausgestattet sind, dessen Drehzahlbereich von 0 bis 1.500 U/min reicht. 30
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Antrieb (18) für die Spindelstöcke (4 bzw. 5) ein schaltbares Zwischengetriebe (19) mit einem Übersetzungsfaktor bzw. Untersetzungsfaktor von mindestens 50, insbesondere 70, insbesondere 100 umfaßt. 35
24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Zwischengetriebe (19) eine Schneckenrad/Schnecken-Paarung umfaßt. 40
25. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß das Zwischengetriebe (19) ein Planetengetriebe umfaßt.
26. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Futter (6a, 6b) der Vorrichtung zum beidseitigen Einspannen der Kurbelwelle einerseits Backen (7) zum Spannen am Umfang und andererseits Spitzen (8) zur Spannung zwischen Spitzen aufweisen, wobei die Backen (7) relativ zur Spitze (8) desselben Futters (6a, 6b) 50 in axialer Z-Richtung soweit bewegbar sind, daß eine in der Spitze (8) gehaltene Kurbelwelle (20) nicht mehr im Bereich der Backen (7) des gleichen Futters liegt.
27. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Vorrichtungsansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens in der langsamen Betriebsstufe des Spindelstock-Antriebes (18) die gesteuerte C-Achse verfügbar ist und davon abhängig die Bewegungen der Werkzeugsupporte (1, 2) in X- und Z-Richtung steuerbar sind. 55 60

---

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

---

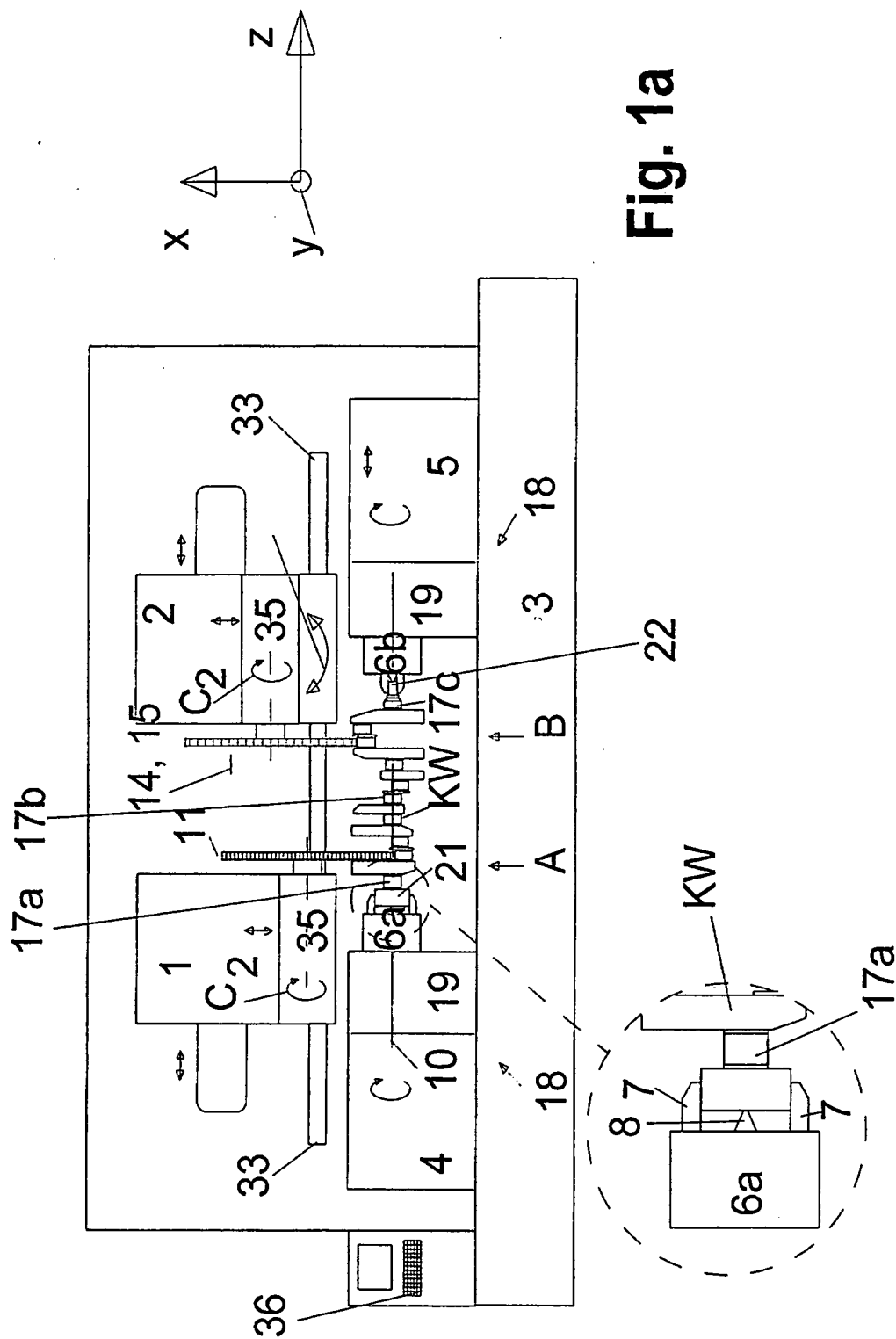


Fig. 1a

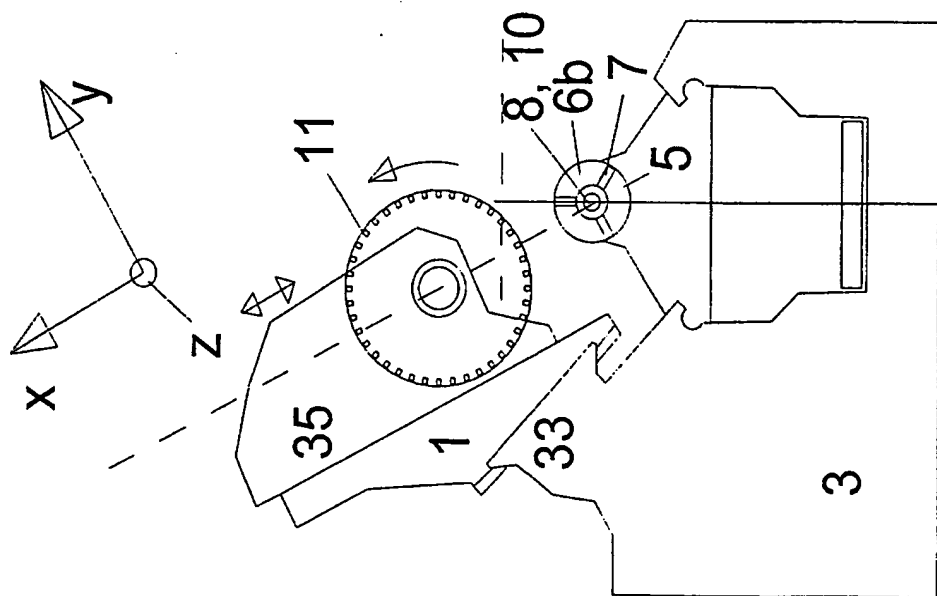


Fig. 1b

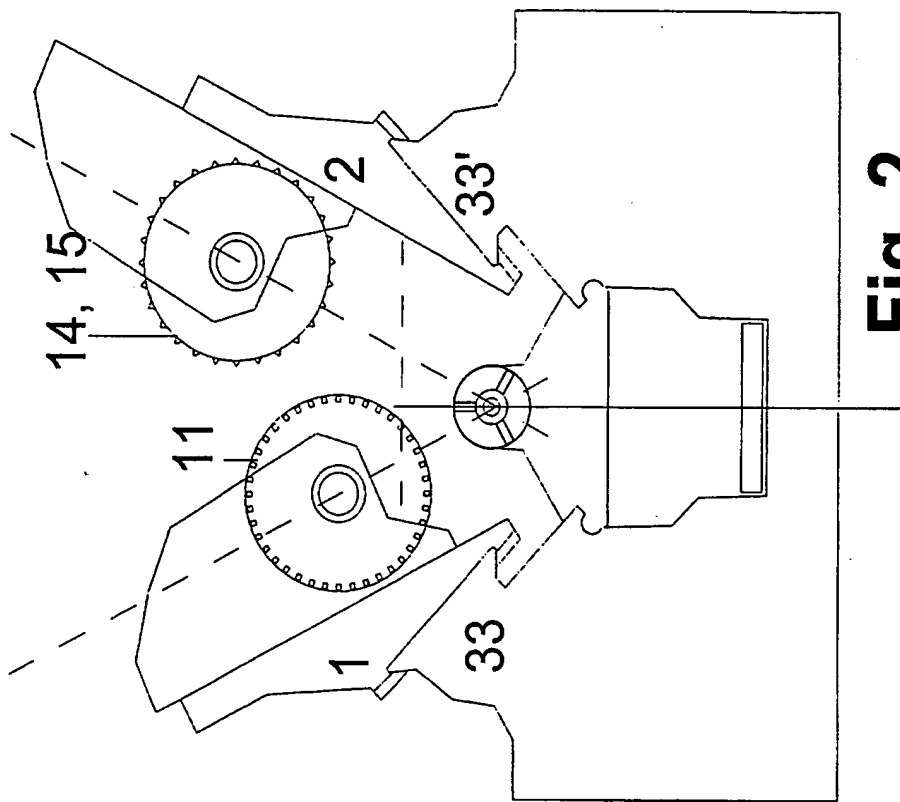


Fig. 2



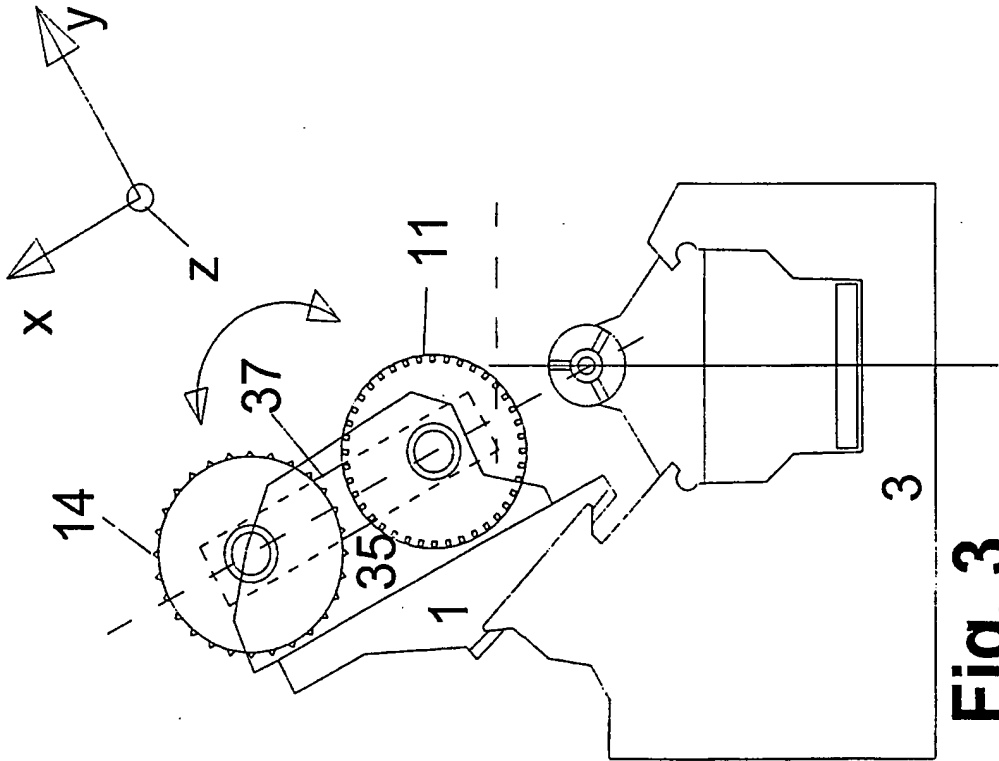


Fig. 3

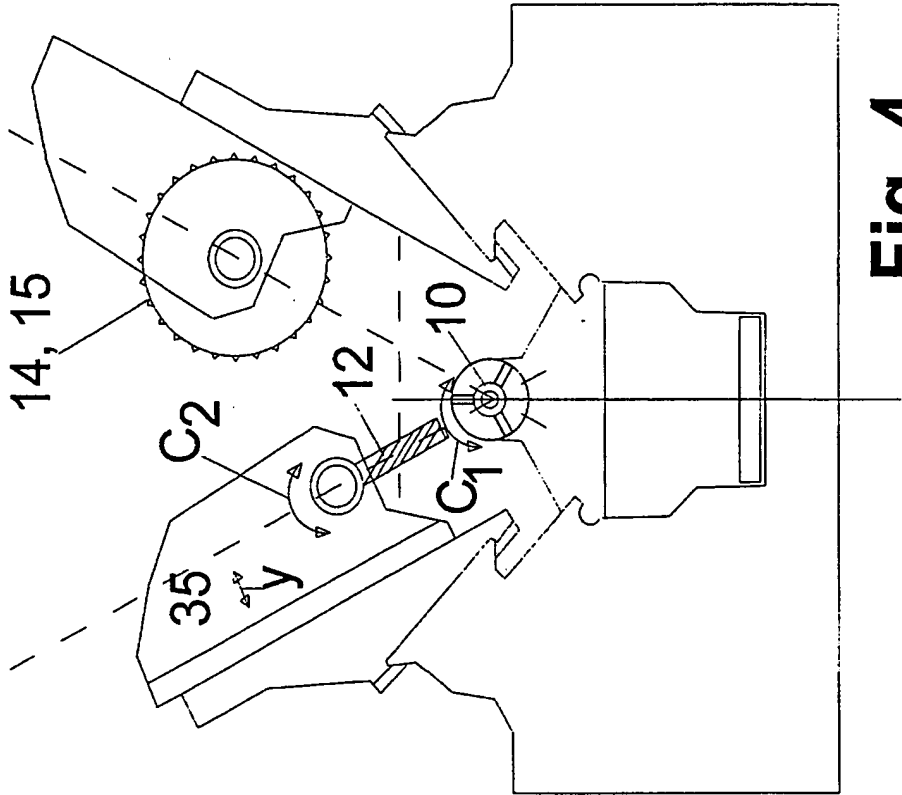


Fig. 4

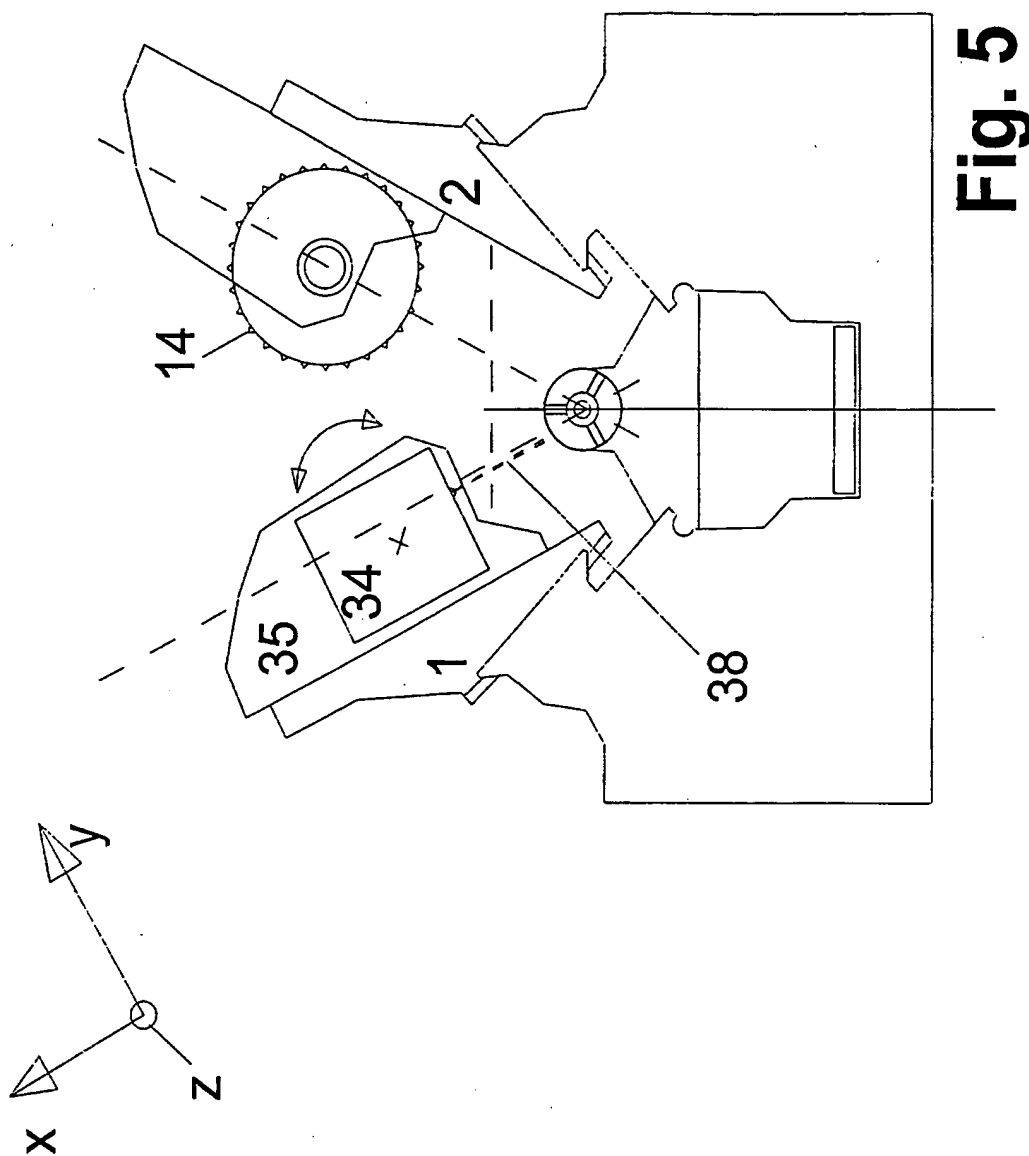


Fig. 5